

# Інформаційні технології

УДК 681.514:621.029

## СТРУКТУРИЗАЦІЯ, МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ІНТЕРАКТИВНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ОПЕРАТОР – ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ОБ'ЄКТІВ НАФТОГАЗОВОЇ ГАЛУЗІ

<sup>1</sup>Н.Я. Возна, <sup>2</sup>Г.Я. Процюк, <sup>2</sup>І.Р. Пітух, <sup>2</sup>Я.М. Николайчук<sup>1</sup>Тернопільський національний економічний університет; 46000, м. Тернопіль, вул. Львівська, 11,  
e-mail: v o z n a @ u k r . n e t<sup>2</sup>ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727131,  
e-mail: p u b l i c @ n u n g . e d u . u a

Роботу присвячено аналізу програмно-апаратних засобів діагностування промислових об'єктів, методів та моделей інтерактивної взаємодії "оператор-моніторингова система". Досліджено структурування інтерактивних систем моніторингу об'єктів нафтогазової галузі. Визначено інтерфейсні та управлінські функції операторів підсистеми моніторингу процесів буріння. Сформульовано основні функціональні обмеження існуючих моніторингових систем, які не забезпечують оперативне виявлення та реагування операторів на складні передаварійні та аварійні ситуації на об'єктах. Обґрунтовано перспективу розробки та впровадження у моніторингових системах об'єктів нафтогазової галузі структурованих образно-кластерних інтерактивних моделей "оператор-моніторингова система", побудованих на основі глибокого статистичного, кореляційного, спектрального, ентропійного та логіко-статистичного станів об'єктів.

Ключові слова: комп'ютеризовані системи, діагностування, бурові установки, структуризація даних, образно-кластерні моделі.

Работа посвящена анализу программно-аппаратных средств диагностирования промышленных объектов, методов и моделей интерактивного взаимодействия "оператор-мониторинговая система". Исследована структуризация интерактивных систем мониторинга объектов нефтегазовой отрасли. Определены интерфейсные и управленческие функции операторов подсистемы мониторинга процессов бурения. Сформулированы основные функциональные ограничения существующих мониторинговых систем, которые не обеспечивают оперативное выявление и реагирование операторов на сложные предаварийные и аварийные ситуации на объектах. Обоснована перспектива разработки и внедрения в мониторинговых системах объектов нефтегазовой отрасли структурированных образно-кластерных интерактивных моделей "оператор-мониторинговая система", построенных на основе глубокого статистического, корреляционного, спектрального, энтропийного и логико-статистического состояний объектов.

Ключевые слова: компьютеризированные системы, диагностика, буровые установки, структурирование данных, образно-кластерные модели.

The article deals with the analysis of hardware and software for diagnostics of industry facilities, methods, and models of interactive system "operator-monitoring system". The structuring of the interactive systems for monitoring of oil and gas industry facilities was studied. The interface and administrative functions of the operators of the subsystem for drilling processes monitoring were defined. The main functional limitations of the existing monitoring systems that do not ensure operators' concurrent detection and response to difficult pre-emergency and emergency situations were stated. The authors of the work justified the prospects of development and introduction of the structured image cluster interactive models "operator-monitoring system", developed on the basis of deep statistical, correlation, spectral, entropic, and logical-and-statistical states of the facilities, into the monitoring systems of oil and gas industry facilities.

Keywords: computer-aided system, diagnostics, drilling rig, data structuring, image and cluster models.

### Вступ

Розробка та впровадження комп'ютеризованих систем моніторингу широкого класу технологічних об'єктів різних галузей промисловості, а також технічної та екологічної безпеки їх експлуатації є особливо актуальною науково-прикладною задачею у нафтогазовій галузі. Та-

кими об'єктами є установки буріння, видобутку, підготовки, транспорту, переробки та зберігання нафтопродуктів і газу [1, 2].

У структурі комп'ютеризованих систем контролю та управління промислових об'єктів моніторинг за їх станом та технологічними режимами роботи виконують оператори абонент-

## Обслуговування на сервере

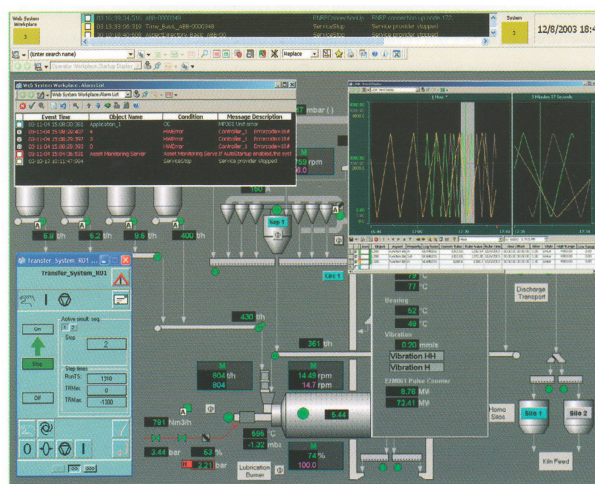
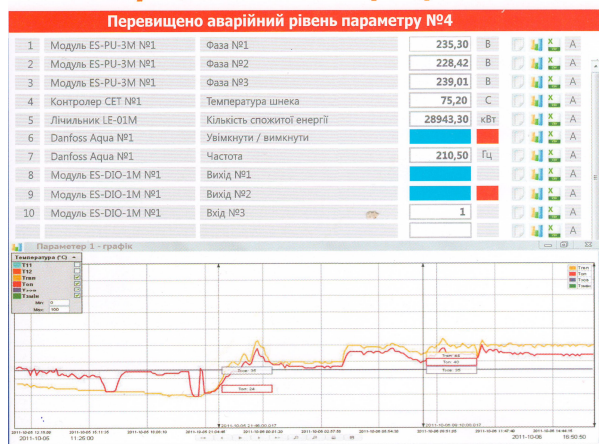


Рисунок 1 – Структуризація моніторингових даних в існуючих системах

ських станцій [3]. При цьому методи представлення, структуризація даних та технологія інтерактивної взаємодії "оператор – моніторингова система" (ОМС), як свідчить практика, дослідження науковців та розробки фірм [4,5], надійність та результативність функціонування ОМС в реальному часі суттєво впливає на ефективність роботи об'єктів та інформаційної системи діагностування в цілому.

Важливим елементом вказаної інформаційної взаємодії є інтерактивний режим реалізації моніторингу, ефективна структуризація моделей об'єктів управління, а також надійне розпізнавання квазістаціонарних, нештатних, передаварійних, аварійних та екологічно-небезпечних ситуацій на об'єктах. Особливе значення при цьому надається забезпеченню низької складності та високої швидкодії реакції оператора на зміни станів об'єктів.

Перспективним методом реалізації таких характеристик комп'ютеризованої системи на рівні абонентської станції оператора є образно-кластерна структуризація даних та відображення відповідної моделі на екрані монітора [3,6]. Досвід побудови такого класу моделей, отриманий у галузі літакобудування, на основі теорії та ентропійних принципів суб'єктивного аналізу В. Касьянова [7], а також проектування спеціалізованих комп'ютерних систем [8].

### Аналіз публікацій та окреслення наукової задачі

Моніторинг технологічних об'єктів нафтогазової та інших галузей промисловості в наш час здійснюється за допомогою інтегрованих розподілених комп'ютеризованих систем [1-6]. Програмно-апаратні засоби такого класу інформаційних систем тиражуються і впроваджуються відомими зарубіжними фірмами: ABB, Motorola, F&F, SPM, SCHENCK, YOKOGAWA та їхніми представництвами в Україні (Електросвіт, ООО "Йокогава Електрик Україна") [4-6].

Прикладом найбільш популярних систем моніторингу стану розподілених об'єктів, до

яких належить більшість промислових установок нафтогазової галузі є:

- інтегрована система фірми ABB, яка виконує: централізоване ліцензування; узгоджений обмін даними між контролерами; централізоване конфігурування структури та резервування; опрацювання аварійних сигналів високого рівня пріоритету; збір, зберігання і перегляд графічних трендів історії і даних; реєстрація подій по всій системі;

- система CMS фірми SPM, яка дає змогу виконувати інформаційно-вимірювальні функції, моніторинг технічного стану, спектральний аналіз, реєстрацію відхилень обладнання від норми, формування сигналів тривоги та накопичення інформації в реальному часі;

- система адаптивної моніторизації COMPASS фірми Брюль і К'єр, система VIBROCAM-4000 фірми SCHENCK та ES-Configurator, представника F&F "Електросвіт" фірми F&F, які оснащені повнофункціональними наборами компонентів типу: сенсорів, комутаційних та програмованих реле, таймерів, цифрових регуляторів, контролерів, індикаторів та моніторів абонентських станцій операторів. Приклади архітектури таких систем подано у табл. 1.

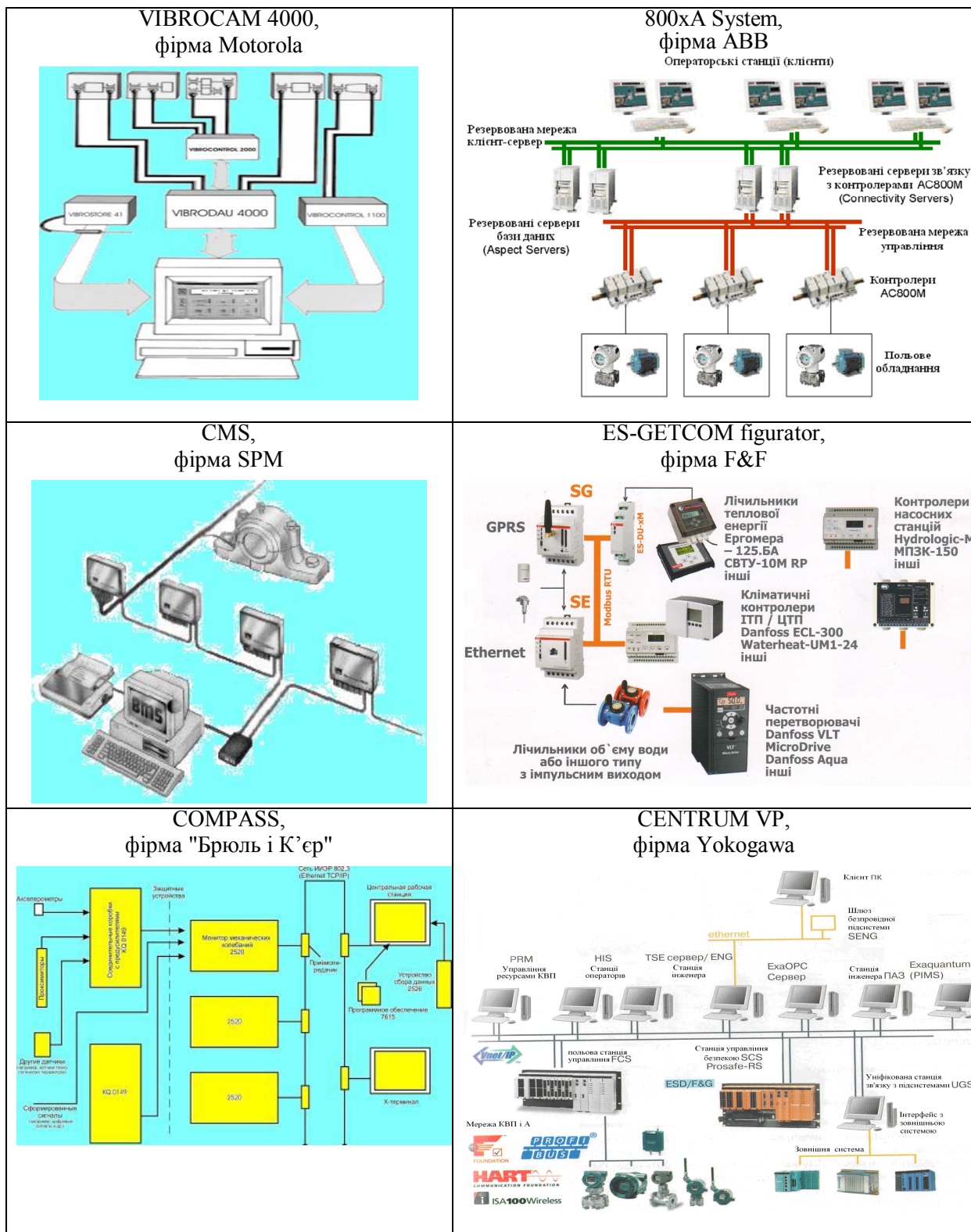
Як системи дистанційної взаємодії компонентів провідного та безпроводного інтерфейсного зв'язку використовується [5]: сервери OPC і SCADA, GSM та LAN-мережі, Internet GSM, CSD, Clip, Voice IBR, DIMF, GPRS, MS SQL, MY SQL, Modbus RTU/TCP.

Важливими функціями описаних систем є організація інтерактивної взаємодії ОМС, яка реалізується на рівні абонентської станції оператора (ACO).

Типовими структуризованими формами такої взаємодії є (рис. 1):

- таблиця усіх або за вибором оператора певної групи технологічних параметрів;
- тренди графіків реєстрації параметрів у часі;
- реалістичне структуризоване представлення об'єкта чи процесу моніторингу на базі Windows WPF.

Таблиця 1 – Структурна організація моніторингових комп'ютеризованих інтерактивних систем



Слід зауважити, що в системі 800A та Centrum VPRS значна увага приділена факторам ефективності роботи оператора. При цьому метою інтегрованого інтерфейсу оператора є надання йому можливості швидкого і спрощеного користування засобами прийняття рішення для аналізу, пошуку та ліквідації несправності, як у

звичайному режимі, так і при наявності збоїв і відмов керуючого, виконавчого та інформаційного обладнання.

Виконаний аналіз структури та функцій інтегрованих комп'ютеризованих систем моніторингу універсального призначення свідчить, що проблеми розвитку теорії, систематизації функ-



Рисунок 2 – Промислові об'єкти НГК

цій та методам підвищення ефективності роботи операторів взаємодії ОМС приділено недостатньо уваги. При цьому практично відсутні дослідження структуризованих моделей ОМС, адаптованих до конкретних інформаційних, технологічних та семантичних станів реальних промислових об'єктів управління. Недостатньо уваги приділено реалізації принципів побудови образно-кластерних моделей моніторингу відхилень станів об'єктів від норми на основі статистичних, кореляційних, спектральних, ентропійних, кластерних та логіко-статистичних інформаційних моделей, теоретичні основи яких викладено у наукових працях [9-11].

### Мета роботи

Метою даної роботи є обґрунтування розробки та впровадження у програмно-апаратне забезпечення моніторингових систем контролю та управління об'єктами нафтогазової галузі структуризованих інтерактивних образно-кластерних моделей взаємодії "оператор-моніторингова система".

Застосування глибокого статистичного, кореляційного, ентропійного та логіко-статистичного аналізу станів об'єктів є перспективним інструментом підвищення ефективності роботи операторів в умовах виникнення нештатних, передаварійних та аварійних ситуацій на промислових об'єктах нафтогазової галузі.

### Виклад основного матеріалу

#### Архітектура та функції інформативних моніторингових систем у нафтогазовій промисловості

Класифікацію об'єктів нафтогазового комплексу (НГК) наведено на рис.2.

Практично всі технологічні об'єкти НГК мають найбільш виражені квазістаціонарні статистично змінні у часі, аварійно-вибухо-еколо-

гонебезпечні характеристики. Тому у структурі інформаційних систем моніторингу такого класу об'єктів високу відповідальність несуть оператори комп'ютеризованих комплексів контролю та управління. Крім цього, навіть при умові високої надійності промислового обладнання, засобів автоматизації та компонентів інформаційно-моніторингової системи, також повинні враховуватися питання інформаційної безпеки та захисту інформаційних ресурсів від зовнішніх випадкових та цілеспрямованих негативних впливів.

#### Підсистема контролю та управління бурінням нафтових та газових свердловин

Оскільки процеси буріння є достатньо тривалими у часі, енергоємні та економічно затратні, функції оператора у підсистемі контролю та управління будівництвом свердловин потребують глибокої систематизації, дослідження та оптимізації.

Розробка та серійний випуск систем комплексного управління бурінням (СКУБ-М) та програмно-апаратних засобів активного терміналу оперативної системи буріння (АТОС-Б) виконувалися Івано-Франківським заводом "Промприлад". Структуру названих систем, у розробці яких безпосередню участь брали співробітники ІФНТУНГ під керівництвом професорів Семенцова Г.Н. та Николайчука Я.М. зображено на рис. 3 та рис. 4.

Особливістю автоматизованої системи управління бурінням є трирівнева інтерактивна архітектура, на кожному рівні якої функції моніторингу та управління в реальному часі паралельно виконують 3 ієрархічно підпорядковані оператори:

- бурильник (оператор 1);
- буровий майстер (оператор 2);
- диспетчер УБР (оператор 3).





Рисунок 3 – Структура аналогової розподіленої інтерактивної системи контролю і управління бурінням СКУБ-М

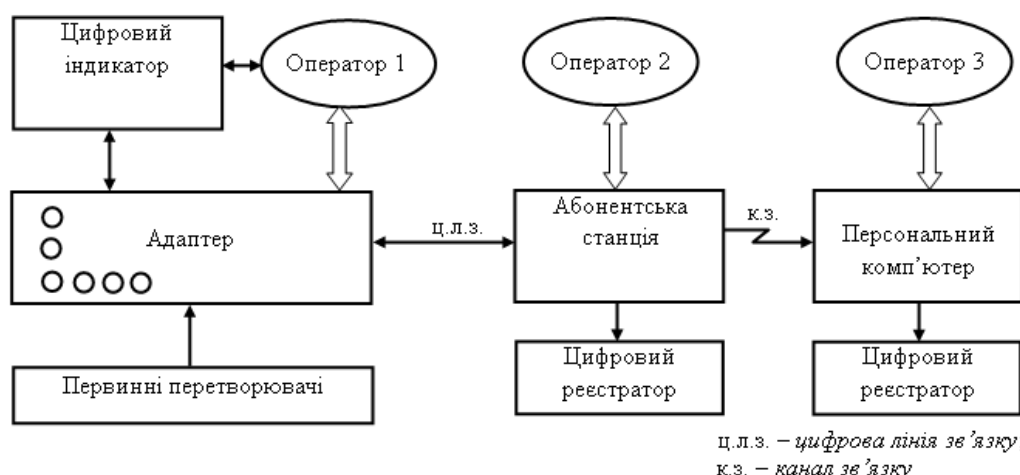


Рисунок 4 – Архітектура цифрової інтерактивної розподіленої системи моніторингу процесів буріння

Слід зауважити, що незважаючи на багаточисельну експлуатацію такої структуризації моніторингу технологічних процесів буріння теоретичні, методологічні, експериментальні, ергономічні та техніко-експлуатаційні дослідження взаємодії ОМС практично не проводилися і недостатньо повно відображені у наукових працях. Крім того, відсутній аналіз взаємодії ОМС, виходячи з фундаментальних положень теорії джерел інформації та теорії суб'єктивного ентропійного аналізу операторів складних відкритих систем [11, 12].

Структуру цифрової системи контролю та моніторингу процесів роторного буріння АТОС-Б зображено на рис. 4.

У системі АТОС-Б визначені наступні функції операторів:

- 1 оператор – бурильник: вибір з допомогою адаптера одного з шести технологічних станів бурової установки:

- 1 – буріння, 4 – випробування,
- 2 – промивання, 5 – компоновка,
- 3 – СПО, 6 – очікування.

- 2 оператор – буровий майстер, виконує наступні функції:

- інтерактивна взаємодія з оператором 1;

- моніторинг і аналіз стану та режимних параметрів процесу буріння, представлених у цифровій формі;

- формалізований ввід даних добового майстра (СРБМ) у реальному часі або у пакетному режимі вкінці доби.

Абонентський пункт бурового майстра, оснащений спецпроцесором, виконує наступні інформаційні операції:

- зменшення надлишковості вхідної вимірювальної та алфавітно-цифрової інформації;
- структуризоване кодування вхідних вимірювальних та техніко-економічних даних у кодів системи залишкових класів з захистом від помилок та несанкціонованого доступу;
- квазітрійкова частотна маніпуляція вихідного коду з внутрішньою бітовою та блоковою синхронізацією;
- реєстрація інформаційних даних на цифровому носії.

Функції 3 оператора в УБР співпадають з функціями оператора системи СКУБ-М, а також розширені можливістю контролю та моніторингу станів БУ та трендів технологічних параметрів в реальному часі на моніторі персонального комп'ютера.

Таблиця 2 – Кореляційні функції для різних моделей

Назва моделі	Аналітичний вираз
Знакова автокореляційна модель	$B_{xx}(j) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1+j}^{n+j} \text{sign } x_i \cdot \text{sign } x_{i+j}$
Релейна автокореляційна модель	$H_{xx}(j) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1+j}^n x_i \cdot \text{sign } x_{i+j}$
Коваріаційна автокореляційна модель	$K_{xx}(j) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1+j}^{n+j} x_i \cdot x_{i+j}$
Кореляційна автокореляційна модель	$R_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1+j}^{n+j} x_i \cdot x_{i+j}; x_i = x_i - M_x; j \in \overline{0, m}$
Нормована автокореляційна модель	$\rho_{xx}(j) = \frac{R_{xx}(j)}{D_x}$

Таким чином аналіз архітектури, функцій тиражованих комп'ютеризованих систем моніторингу та особливостей реалізації взаємодії ОМС у системах управління процесом буріння дозволяє зробити наступні висновки.

1. В існуючих системах даного класу контроль та моніторинг відхилень станів та технологічних процесів об'єктів управління виконується виключно шляхом контролю та реєстрації відхилень по амплітуді.

2. Функції та інформаційна взаємодія ОМС в інструкціях по експлуатації та описах систем практично відсутні.

3. Недостатньо досліджені теоретично та експериментально моделі та способи відображення структурованих даних інтерактивного моніторингу операторами систем.

4. Практично не використовується для інтегрованого відображення на моніторах операторів результати статистичного, кореляційного, спектрального, кластерного, ентропійного та логіко-статистичного опрацювання квазістаціонарних переходів об'єктів управління у різні інформаційні, технологічні, семантичні та евристичні стани

5. Не проаналізовано перспективу підвищення ефективності роботи операторів в умовах виникнення нештатних, передаварійних, аварійних та еколого-небезпечних ситуацій на промислових установках нафтогазової галузі.

6. Потребують глибоко теоретичного та експериментального дослідження методи структуризації моніторингових даних на основі образно-кластерних моделей та ергономіки інформаційної взаємодії ОМС.

#### **Теоретичні засади структуризації даних образно-кластерного моніторингу об'єктів управління (ОУ) інтерактивної комп'ютеризованої системи**

Параметри ОУ, на основі яких ідентифікуються його статистичні, кореляційні та ентропійні стани визначаються згідно фрейму оператора та формується його структурована образно-кластерна модель згідно виразу [10]:

$$X_{OY} = F(\{x_i\}, \{x_j\}, S_{oy}, M_x, M_j, M_v, D_x, \delta_x, R_{xx}, R_{xy}, S_w, L_i, \rho_{ij}, S_{ij}, P_{ij}, I_x)$$

де  $\{x_i\}, \{x_j\}$  - масиви оцифрованих моніторингових даних параметрів ОУ;

$S_{oy}$  - відповідно семантичний, інформаційний та технологічний стани ОУ;

$M_x, M_j, M_v$  - відповідно вибіркове, ковзне та вагове математичні сподівання;

$D_x, \delta_x$  - відповідно дисперсія та середньоквадратичне відхилення;

$R_{xx}, R_{xy}$  - автокореляційна та взаємкореляційні функції;

$S_w$  - спектри параметрів ОУ у різних теоретико-числових базисах;

$L_i$  - логіко-статистичні інформаційні моделі (ЛСІМ),  $i \in \overline{1, 5}$ ;

$\rho_{ij}, S_{ij}, P_{ij}$  - відповідно матриці коефіцієнтів взаємкореляції, кластерної моделі ймовірнісних переходів та ентропійних станів;

$I_x$  - кореляційна міра ентропії стану ОУ.

Аналітику кореляційних функцій наведено в табл. 2.

Статистичні характеристики структурованих даних  $M_x, M_j, M_v, D_x, \delta_x$  обчислюються згідно аналітичних виразів:

$$M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i; M_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1+j}^{n+j} X_{i+j};$$

$$M_v = \frac{1}{n} \sum_{i=1+j}^{n+j} V_{i-j} X_{i+j}; D_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - M_x)^2;$$

$$\sigma_x = \sqrt{D_x}; V - \text{вагова функція.}$$

Аналітику ЛСІМ наведено в таблиці 3.

Я.М.Николайчуком розроблено теорію та запропоновано інформаційну міру ентропії, яка розраховується для однопараметричних та багатопараметричних ОУ згідно виразу:

[illegible]

де  $\hat{E}[\bullet]$  – цілочисельна функція з округленням до більшого цілого.

нісних станів ОУ враховує його кореляційні характеристики переходу з одного стану в інший, що розширює функціональні можливості моніторингу переходів ОУ в передаварійні та аварійні стани.

Побудова образно-кластерної моделі ОУ здійснюється на основі нормованої кореляційної матриці  $\|\rho_{ij}\|$ , яка розраховується на основі нормо-

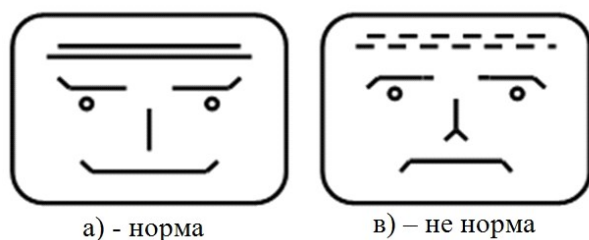


Рисунок 5 – Структуризована образно-кластерна модель ОУ

ваних коефіцієнтів взаємкореляції  $\rho_{ij}$  згідно

виразу:  $\rho_{ij} = \frac{R_{ij}(0)}{\sigma_i \sigma_j}$  та матриці

$$\|\rho_{ij}\| = \begin{pmatrix} 1 & \rho_{12} & \dots & \rho_{1m} \\ & 1 & \dots & \rho_{2m} \\ & & \dots & \dots \\ & & & \rho_{m-1,m} \\ & & & & 1 \end{pmatrix}.$$

На рис. 5 наведено приклад реалізації образно-кластерної моделі на моніторі оператора, яка відображає стан норми та відхилення від норми на основі глибокого статистичного та кореляційно-ентропійного аналізу.

#### Наукова новизна та практична цінність отриманих результатів

Наукова новизна запропонованого методу побудови образно-кластерної моделі (ОКМ) моніторингу станів об'єкта управління полягає у тому, що існуючі методи характеризуються обмеженими функціональними можливостями, оскільки демонструють оператору тільки факт передаварійних чи аварійних станів об'єкта. Виявлення нештатного стану об'єкта потребує від оператора додаткових дій для ідентифікування конкретного параметру відхилення від норми. Таким чином відомі методи моніторингу об'єктів не забезпечують необхідну швидкодію реакції оператора та правильність прийняття рішень по відновленню норми стану об'єкта.

Запропонований метод, на відміну від відомих, шляхом інтегрованого представлення стану об'єкта ОКМ, яка формується на основі опрацювання статистичних, кореляційних, логіко-статистичних, спектральних, кластерних та ентропійних характеристик об'єкта, забезпечує покращені умови моніторингу та підвищення швидкодії реакції оператора на відхилення станів об'єкта від норми. При цьому забезпечується необхідний рівень вибухо- та екологічної безпеки об'єктів нафтогазової галузі.

#### Висновки

Виконаний огляд та аналіз системних характеристик тиражованих інформаційних систем моніторингу та управління розподіленими промисловими об'єктами, включаючи установки буріння нафтогазового комплексу.

- 1. Моделі ЛСІМ (1-5)
- 2. Ентропія ОУ ( $I_x, D_{OY}$ )
- o o 3. Динаміка відхилень від норми ( $\|\rho_{ij}\|, P_{ij}$ )
- | 4. Статистика станів ( $D_x, \delta_x, R_{xx}, R_{xy}, S_w$ )
- 5. Математичні сподівання заданих уставок ( $M_x, M_j, M_v, \varepsilon_i$ )

Обґрунтовано зростання ролі операторів та їх взаємодії з моніторинговою інформаційною системою при вирішенні задач підвищення ефективності аварійної та екологічної безпеки об'єктів нафтогазової галузі. Визначено перспективу розвитку теорії інтерактивних методів взаємодії ОМС на основі побудови образно-кластерних моделей.

#### Література

- 1 Карпаш О.М. Технічна діагностика бурового та нафтогазового обладнання: навч. посіб. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2007. – 272 с.
- 2 Заміховський Л.М. Основи теорії надійності і діагностики технічних систем: навч. посіб. / Л.М.Заміховський, В.П.Калявін. – Івано-Франківськ: Полум'я, 2004. – 360 с.
- 3 Семенцов Г.Н. Основи моніторингу технологічних об'єктів нафтогазової галузі: навч. посіб. / Г.Н.Семенцов, М.М.Дранчук, О.В.Гутак, Я.Р.Когуч, М.І.Когутян, Я.В.Куровець. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. – 808 с.
- 4 [www.abb.com](http://www.abb.com) - офіційний сайт компанії АВВ.
- 5 [www.es.ua](http://www.es.ua) - офіційний сайт фірми "Електросвіт".
- 6 [www.yokogawa.ua](http://www.yokogawa.ua) - офіційний сайт компанії YOKOGAWA.
- 7 Касьянов В. Субъективный анализ. – Киев: НАУ, 2007. – 512 с.
- 8 Nykolaichuk Ya.M., Vozna N.Ya., Pitukh I.R. Structuring the movement of data in computer systems. Ternopil: Terno-graf, 2013. – 284 p.
- 9 Алишов Н.И. Развитие методы взаимодействия ресурсов в распределенных системах. – Киев: Сталь, 2009. – 448 с.
- 10 Vozna N., Protsiuk H., Pituh I., Nykolaychuk Y. Image-cluster Method of Data Structuring of Multipsrsmeter Objects Monitiring of Interactive Computer Systems Proceedings of XIIIth International Conference CADSM'2015. – Lviv, 2015. – PP. 295-299.
- 11 Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації / Я.М. Николайчук. – Тернопіль: ТНЕУ, 2008. – 536 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
04.06.15

Рекомендована до друку  
професором Горбійчуком М.І.  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
професором Березьким О.М.  
(Тернопільський національний економічний  
університет, м. Тернопіль)